

ANALISIS KONFIGURASI TIANG PANCANG KELOMPOK TERHADAP DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG (Studi Kasus Proyek Pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang)

Claudya Tamara

Email : claudyatamara@yahoo.com

Ferra Fahriani

Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung

ABSTRAK

Pada proyek pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang mini pile dengan sistem group pile. Sistem group pile pada pondasi di pembangunan rumah sakit ini direncanakan memiliki jumlah tiang pancang yang berbeda yaitu tiga tiang, empat tiang, lima tiang, enam tiang, tujuh tiang, delapan tiang, dan sepuluh tiang. Sistem group pile tidak lepas dari perencanaan konfigurasi yang paling baik untuk mendapatkan nilai daya dukung tinggi dan penurunan yang rendah. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan variasi konfigurasi tiang pancang dengan memodelkan konfigurasi yang berbeda dengan jumlah tiang yang sama dengan pembangunan rumah sakit ini. Selanjutnya, akan dibandingkan nilai daya dukung dan penurunan tiang mana nilai yang terbaik. Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan metode langsung (Direct One) dan faktor efisiensi tiang untuk analisis daya dukung tiang sedangkan metode Vesic untuk analisis penurunan tiang. Perhitungan dilakukan berdasarkan data tanah yang didapat berupa data sondir. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa pengaruh konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap daya dukung tiang dipengaruhi oleh besarnya efisiensi tiang (E_g) semakin besar efisiensi tiang semakin besar pula daya dukungnya sedangkan pengaruh konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap penurunan tiang dipengaruhi oleh besarnya lebar tiang kelompok (B_g) semakin besar lebar tiang kelompok semakin besar pula penurunan tiang kelompoknya.

Kata kunci : Pondasi, Konfigurasi, Daya dukung pondasi, Penurunan, Sondir

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada proyek pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang mini pile dengan sistem *group pile*. Sistem *group pile* pada pondasi di pembangunan rumah sakit ini direncanakan memiliki jumlah tiang pancang yang berbeda yaitu tiga tiang, empat tiang, lima tiang, enam tiang, tujuh tiang, delapan tiang, dan sepuluh tiang. Sistem *group pile* tidak lepas dari perencanaan konfigurasi yang paling baik untuk mendapatkan nilai daya dukung tinggi dan penurunan yang rendah. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan variasi konfigurasi tiang pancang dengan memodelkan konfigurasi yang berbeda dengan jumlah tiang yang sama dengan pembangunan rumah sakit ini. Selanjutnya, akan dibandingkan nilai daya dukung dan penurunan tiang mana nilai yang terbaik.

Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas, rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap daya dukung tiang ?
2. Bagaimana pengaruh konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap penurunan tiang ?

Batasan Masalah

Yang menjadi batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya menganalisis konfigurasi pondasi tiang pancang pada Gedung B dan model konfigurasi yang direncanakan peneliti.
2. Data tanah didapat dari proyek pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang.

3. Data jenis, dimensi, dan model konfigurasi tiang pancang didapat dari proyek pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang.
4. Perhitungan dan pembahasan hanya pada analisa daya dukung tiang pancang dan penurunan tiang pancang.
5. Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal dari uji sondir menggunakan metode langsung.
6. Perhitungan daya dukung tiang pancang kelompok berdasarkan faktor efisiensi tiang.
7. Perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan metode Vesic (1970) dan penurunan tiang kelompok menggunakan metode Vesic (1977).

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap daya dukung tiang.
2. Untuk mengetahui pengaruh konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap penurunan tiang.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Menurut Setepu (2014), mengenai Analisis Konfigurasi Pondasi Tiang Pancang Kernel Jetty terhadap Gaya Lateral pada Pembangunan Jetty Pulau Laut menyatakan bahwa perencanaan dermaga tipe jetty tidak bisa lepas dari penggunaan tiang pancang sebagai pondasi yang menyangga struktur bagian atas. Perencanaan konfigurasi tiang pada struktur jetty dermaga sangat berpengaruh terhadap penggunaan jumlah tiang dan biaya yang dibutuhkan untuk konstruksi. Konfigurasi tiang pancang adalah susunan tiang pancang yang berdasarkan jarak tertentu. Perencanaan konfigurasi tiang pancang bertujuan untuk mengurangi penurunan, defleksi tiang pancang dan efisiensi penggunaan jumlah tiang pancang. Penelitian ini bertujuan

untuk menganalisa hasil perhitungan daya dukung lateral dan perbandingan hasil perhitungan defleksi lateral untuk tiap tipe konfigurasi tiang pancang. Untuk pemodelan struktur tiap tipe konfigurasi tiang pancang menggunakan bantuan program SAP2000 versi 14 dan perhitungan beban lateral ultimit tiang dan defleksi lateral menggunakan Metode Broms. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi tiang tipe 1 lebih baik digunakan dibandingkan konfigurasi tiang tipe 2 dan tipe 3.

Menurut Ismeddiyanto dan Sutikno (2012), mengenai Analisis Struktur Konfigurasi Tiang Dermaga terhadap Gaya Lateral menyatakan bahwa perencanaan dan desain dermaga untuk pelabuhan kargo umum selalu menggunakan tumpukan untuk struktur yang lebih rendah. Pengaturan konfigurasi Pile di dermaga adalah hal yang sangat penting dalam stabilitas struktur serta untuk biaya konstruksi. Penelitian ini telah menganalisis struktural tiga alternatif desain konfigurasi tiang pancang, yaitu tumpukan konfigurasi Tipe-1, Tipe-2, dan Tipe-3. Tipe-I dan Tipe-2 adalah tumpukan konfigurasi konvensional yang paling sering dirancang. Tipe-3 adalah tumpukan konfigurasi yang diusulkan untuk menjadi struktur yang lebih stabil daripada konfigurasi konvensional. Semua konfigurasi alternatif dianalisis menggunakan SAP 2000 VI 1.0.0 untuk menemukan perpindahan maksimum lateral, gaya aksial, gaya geser, dan momen dalam tumpukan. Berdasarkan hasil analisis struktural dapat disimpulkan bahwa jetty Type-3 adalah yang paling stabil.

Menurut Yusuf dan Aryanto (2011), mengenai Kajian Pengaruh Konfigurasi Kelompok Tiang terhadap Daya Dukung Tanah untuk Perkuatan Pondasi Jalan di Tanah Gambut menyatakan bahwa dalam ilmu perbaikan tanah, telah dikenal beberapa metode perbaikan tanah baik yang bersifat primitif/tradisional maupun yang sudah menggunakan teknologi maju. Oleh

karena pekerjaan pembangunan dibatasi biaya maka metode-metode perbaikan yang murah tetapi stabil masih memerlukan inovasi yang terus akan berkembang. Suatu metode perbaikan biasanya hanya cocok untuk kondisi tertentu antara lain menurut jenis tanahnya. Tanah gambut di Pontianak yang secara teknik tidak menguntungkan, telah diterapkan beberapa metode perbaikan yang efektif dan efisien dengan biaya minimal. Penelitian ini mengkaji metode perkuatan dengan tiang cerucuk yang divariasikan dengan berbagai formasi menurut panjang, jarak, diameter, dan jumlahnya dalam satu grup. Maka, simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah dari empat variabel yang ditinjau, hanya variabel jumlah dan diameter tiang merupakan besaran yang paling menentukan terhadap peningkatan daya dukung tiang.

Menurut Firdaus (2011), mengenai Studi Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan Plaxis 2D pada Tanah Lunak menyatakan bahwa dengan mengacu pada jurnal "*Numerical Analyses of Load Tests on Bored Piles*, 2004" Dari hasil penelitiannya tersebut didapat kesimpulan bahwa model material Mohr Coulumb lebih kaku dari pada model material Hardening, dan model material Soft Soil Soil lebih kaku lagi dari model material Mohr Coulumb. Hal ini karena perbedaan dari rumus yang dipakai dari masing – masing metode tersebut. Tugas akhir ini membandingkan beberapa bentuk konfigurasi dari tiang pancang kelompok, yang terdiri dari 2, 3, 4, 6, dan 8 tiang pancang dalam satu konfigurasi dengan jarak antar tiang pancang antara 2Ø sampai 4Ø, dalam menahan beban aksial dan lateral menggunakan bantuan program dalam pengerjaannya yaitu Plaxis 2D Versi 8 dengan model material *Mohr Coulumb*, *Hardening*, *Soft Soil*. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Plaxis 2D diperoleh hasil akibat berubahnya jarak antar tiang pancang berupa penambahan kemampuan tiang pancang dalam menahan

beban Aksial dan Lateral, untuk beban yang sama, penambahan jarak antar tiang dapat mengurangi penurunan dan defleksi tiang pancang.

Menurut Ahmed (2009), mengenai Analisis Pengaruh Konfigurasi Tumpukan terhadap Beban Lateral Kelompok Tiang di Pasir menyatakan bahwa sebuah penyelidikan pengujian dilakukan pada kelompok tiang di bawah beban lateral yang statis untuk menentukan interaksi tanah timbunan tiang dan efek konfigurasi tumpukan kelompok tiang di pasir. Tes dilakukan untuk dua konfigurasi yang berbeda dari kelompok tiang. Sekelompok persegi dan kelompok melingkar dengan 9-tumpukan di masing-masing kelompok yang disusun dan diuji untuk beban lateral. Tiga jarak yang berbeda diadopsi di masing-masing kelompok dan diulang selama tiga kali kepadatan yang berbeda dari pasir. Kemudian penelitian ini dapat disimpulkan bahwa efek dari konfigurasi tumpukan tidak signifikan dalam kelompok tiang yang dikenai beban lateral karena faktor interaksi horisontal dari konfigurasi tiang untuk kelompok n-tiang.

Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya.

Uji Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)

Uji penetrasi kerucut statis atau uji sondir banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini sangat berguna untuk memperoleh nilai variasi kepadatan tanah pasir yang tidak padat. Pada tanah pasir yang padat dan tanah-tanah berkerikil dan berbatu, penggunaan alat sondir menjadi tidak efektif, karena mengalami kesulitan

dalam menembus tanah. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau tahanan konus (q_c) yang diperoleh dari pengujian, dapat dikolerasikan secara langsung dengan kapasitas dukung tanah dan penurunan pada pondasi-pondasi dangkal dan pondasi tiang (Hardiyatmo, 2014).

Pengertian Pondasi

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Joseph E. Bowles, 1997).

Jenis-jenis Pondasi Dalam

Saat ini telah banyak digunakan berbagai tipe pondasi dalam. Penggunaan disesuaikan dengan besarnya beban, kondisi lokasi/ lingkungan, dan lapisan tanah. Nama dari tipe-tipe pondasi sangat beragam tergantung pada metode pelaksanaannya seperti tiang pancang dan tiang bor (Hardiyatmo, 2011).

Pengertian Tiang Pancang Pracetak

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan/atau baja, yang digunakan untuk mentransmisikan beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah. Hal ini merupakan distribusi vertikal dari beban sepanjang poros tiang pancang atau pemakaian beban secara langsung terhadap lapisan yang lebih rendah melalui ujung tiang pancang (Joseph E. Bowles, 1997).

Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Untuk kapasitas dukung tiang dari uji kerucut statis (CPT) atau sondir. Perhitungan daya dukung tiang dilakukan dengan menggunakan metode langsung atau *direct one*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_u = q_c \cdot A_p + JHL \cdot k \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana,

Qu	=Daya dukung tiang pancang tunggal (ton)
qc	=Tahanan ujung sondir (ton/m ²)
Ap	=Luas penampang dasar tiang (m ²)
JHL	=Jumlah hambatan lekat atau total friction
K	=Keliling tiang

Efisiensi Tiang (Eg)

Efisiensi tiang (Eg) adalah nilai pengali terhadap kapasitas dukung ultimit tiang tunggal dengan memperhatikan pengaruh kelompok tiang (Hardiyatmo, 2015). Salah satu dari persamaan efisiensi tiang yang disarankan oleh converse-labarre formula, sebagai berikut :

$$Eg = 1 - \theta \cdot \frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90.m.n'} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana,

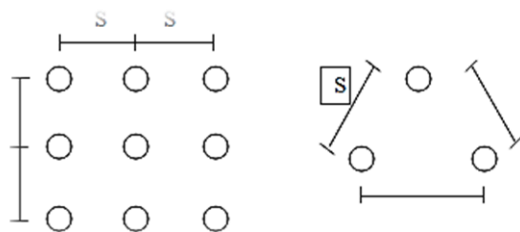
Eg	= Efisiensi kelompok tiang
m	= Jumlah baris tiang
n'	= Jumlah tiang dalam satu baris
θ	= $\arctan \frac{d}{s}$, dalam derajat (°)
S	= Jarak pusat ke pusat tiang (m)
D	= Diameter tiang atau sisi tiang (m)

Untuk menentukan susunan konfigurasi tersebut Fellenius (2006) menyarankan jarak minimum tiang sebagai berikut :

$$S = 2,5 \cdot d + 0,02 \cdot L \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana,

d	= Diameter tiang (m)
L	= Panjang tiang / kedalaman penetrasi tiang (m)



Sumber : Hardiyatmo, 2015

Gambar 2.2 Jarak S dalam hitungan Efisiensi tiang

Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Nilai daya dukung tiang kelompok dapat diperoleh dengan menggunakan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan persamaan (Hardiyatmo, 2015) :

$$Qg = Eg \cdot n \cdot Qu \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana,

Qg	=Daya dukung tiang kelompok
Eg	=Efisiensi kelompok tiang
n	=Jumlah tiang dalam kelompok
Qu	=Daya dukung tiang tunggal

Daya Dukung Ijin Tiang

Untuk memperoleh daya dukung ijin tiang, maka daya dukung ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Daya dukung ijin tiang yang telah banyak digunakan untuk perancangan tiang pancang tunggal sebagai berikut:

$$Qa = \frac{Qu}{F} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana,

Qa	=Daya dukung tiang ijin
Qu	=Daya dukung tiang tunggal
F	=Nilai faktor aman

Daya dukung ijin tiang yang telah banyak digunakan untuk perancangan tiang pancang kelompok sebagai berikut:

$$Q_{ga} = \frac{Qg}{F} \text{ (untuk } Qu \cdot n > Qg) \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Q_{ga} = \frac{Qu \cdot n}{F} \text{ (untuk } Qu \cdot n < Qg) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana,

Q _{ga}	=Daya dukung ijin kelompok tiang
Qu	=Daya dukung tiang tunggal
n	=Jumlah tiang setiap kelompok
F	=Nilai faktor aman

Penurunan Tiang

Pada saat tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah disekitarnya akan mengalami penurunan.

A. Penurunan pada tiang tunggal

Penurunan pada pondasi tiang tunggal menggunakan persamaan Vesic 1970 sebagai berikut :

$$S = \frac{D}{100} + Q \cdot \frac{L}{A_p} \cdot E_p \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana,

S = Penurunan pondasi tiang tunggal

D = Diameter tiang

Q = Daya dukung tiang tunggal

L = Panjang tiang

A_p = Luas penampang tiang

E_p = Modulus elastisitas bahan tiang beton

B. Penurunan pada kelompok tiang

Pada tiang yang dipancang dalam lapisan pendukung yang relatif keras dan tidak mudah mampat, penurunan yang terjadi adalah akibat pemendekan badan tiangnya sendiri ditambah penurunan tanah yang berada dibawah dasar tiang. Pada keadaan ini, penurunan kelompok tiang akan kurang lebih sama dengan penurunan tiang tunggal (Hardiyatmo, 2015). Perhitungan penurunan tiang kelompok menggunakan persamaan Vesic (1977) sebagai berikut :

$$S_g = \sqrt{\frac{B_g}{D}} \cdot S \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana,

B_g =Lebar tiang kelompok

D =Diameter suatu tiang dalam kelompok

S =Penurunan elastik tiang tunggal

METODE PENELITIAN

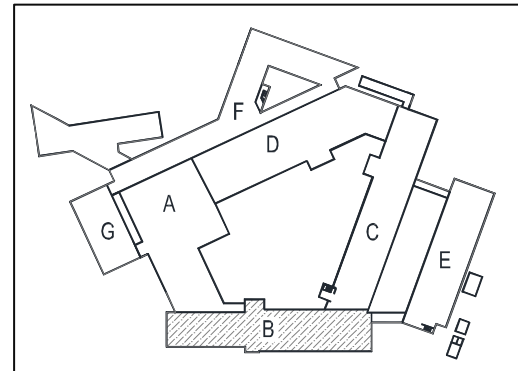
Tempat/Lokasi dan Waktu Penelitian

Tempat/Lokasi: Jalan Soekarno Hatta, Bukitbesar, Girimaya, Bukitbesar, Kec. Girimaya, Kota Pangkal Pinang, Kepulauan Bangka Belitung 33684, Indonesia. Adapun titik penelitian pada Pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Sumber: Data diolah, 2016

Gambar 3.1 Lokasi Penelitian



Sumber: PT. Nindya Karya, 2017

Gambar 3.2 Letak Gedung B

Langkah Penelitian

Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini berupa pengumpulan data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh bukan dari hasil penelitian sendiri. Data sekunder berupa data tanah, data jenis, dimensi dan konfigurasi tiang pancang. Data sekunder umumnya berupa bukti atau laporan historis yang telah tersusun dalam arsip yang dipublikasikan dan yang tidak dipublikasikan.

A. Data Tanah

Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini didapat dari kontraktor Pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang yaitu PT. Nindya Karya yang diuji langsung oleh Universitas Bangka Belitung. Data tanah yang didapat berupa pekerjaan *soiltest* (sondir). Data sondir adalah data yang didapat dari hasil pengujian di lapangan. Pada

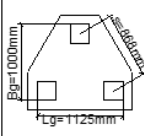
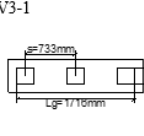
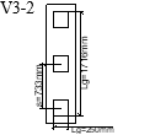
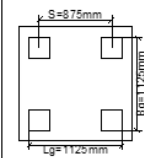
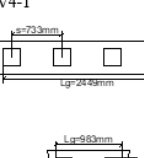
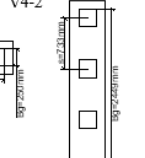
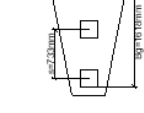
pengujian tanah data sondir menunjukkan nilai parameter perlawanan tanah pada konus (q_c) dan jumlah hambatan lekat (JHL) atau *total friction*. Semakin besar nilai q_c , menunjukan bahwa tanah berada dilapisan tanah keras.

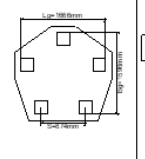
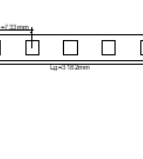
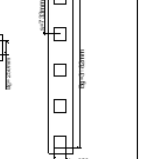
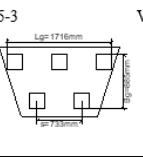
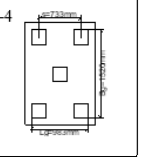
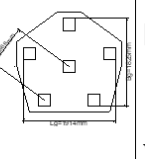
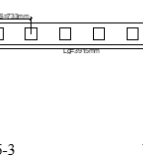
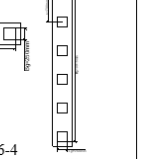
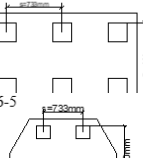
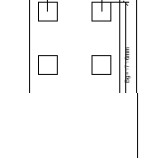
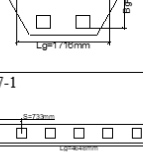
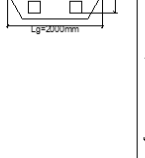

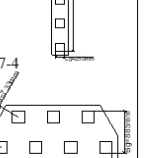
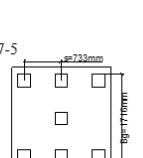
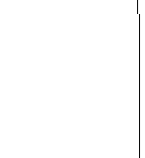

B. Data Struktur

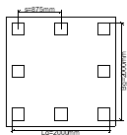
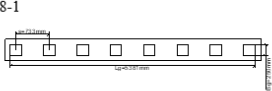
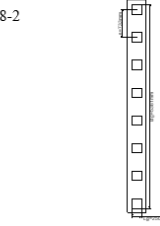


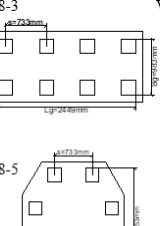
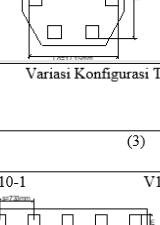
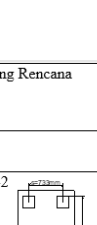
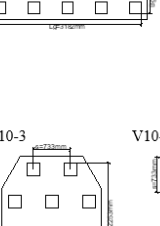
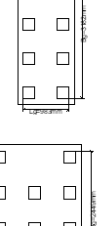
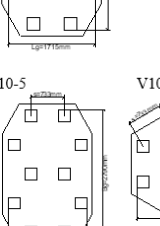
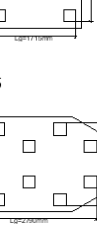
Data struktur yang digunakan dalam Tugas Akhir ini berupa data jenis, dimensi, dan konfigurasi tiang pancang. Data tersebut didapat dari kontraktor (PT. Nindya Karya) pada proyek pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang.

C. Variasi Konfigurasi Kelompok Tiang Pancang

Konfigurasi kelompok tiang pancang didapatkan dari proyek pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang pada tabel 2 dan variasi konfigurasi yang direncanakan sendiri pada tabel 3. Berikut adalah tabel konfigurasi dan variasi konfigurasi.

Jumlah Tiang	Konfigurasi Tiang dari Proyek	Variasi Konfigurasi Tiang Rencana
(1)	(2)	(3)
V3		V3-1  V3-2 
V4		V4-1  V4-2  V4-3 

Jumlah Tiang	Konfigurasi Tiang dari Proyek	Variasi Konfigurasi Tiang Rencana
(1)	(2)	(3)
V5		V5-1  V5-2  V5-3  V5-4 
V6		V6-1  V6-2  V6-3  V6-4  V6-5 
V7		V7-1  V7-2  V7-3  V7-4  V7-5 

V8		V8-1 
		V8-2 
V10		V8-3 
		V8-4 
		V8-5 
		V10-1 
Jumlah Tiang	Konfigurasi Tiang dari Proyek	Variasi Konfigurasi Tiang Rencana
(1)	(2)	(3)

Sumber : Data diolah, 2017

Analisis Pondasi

Dalam Tugas Akhir ini, penyusun melakukan Analisis Konfigurasi Tiang Pancang Kelompok terhadap Daya Dukung dan Penurunan Tiang (Studi Kasus Proyek Pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang). Dimana terdapat beberapa model variasi tiang kelompok yang akan dibandingkan hasilnya berupa daya dukung dan penurunan tiangnya. Maka berikut

urutan dalam menganalisis konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap daya dukung dan penurunan tiang.

A. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal pada Tugas Akhir ini menggunakan metode langsung (*direct one*).

B. Perhitungan Efisiensi Tiang (Eg)

Dengan menganalisis variasi konfigurasi tiang pancang dalam Tugas Akhir ini maka perhitungan efisiensi tiang sangat berpengaruh dalam menentukan pengaruh variasi tiang tersebut terutama dalam perhitungan daya dukung tiang kelompok.

C. Perhitung Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Perhitungan daya dukung tiang pancang kelompok pada Tugas Akhir ini menggunakan faktor efisiensi tiang.

D. Perhitungan Penurunan Tiang

Penurunan tiang dalam Tugas Akhir ini akan dihitung dengan menganalisis penurunan tiang tunggal menggunakan metode Vesic 1970 dan menganalisis penurunan kelompok tiangnya dengan menggunakan metode Vesic 1977.

E. Hasil Perbandingan Variasi Tiang Pancang terhadap Daya Dukung Tiang

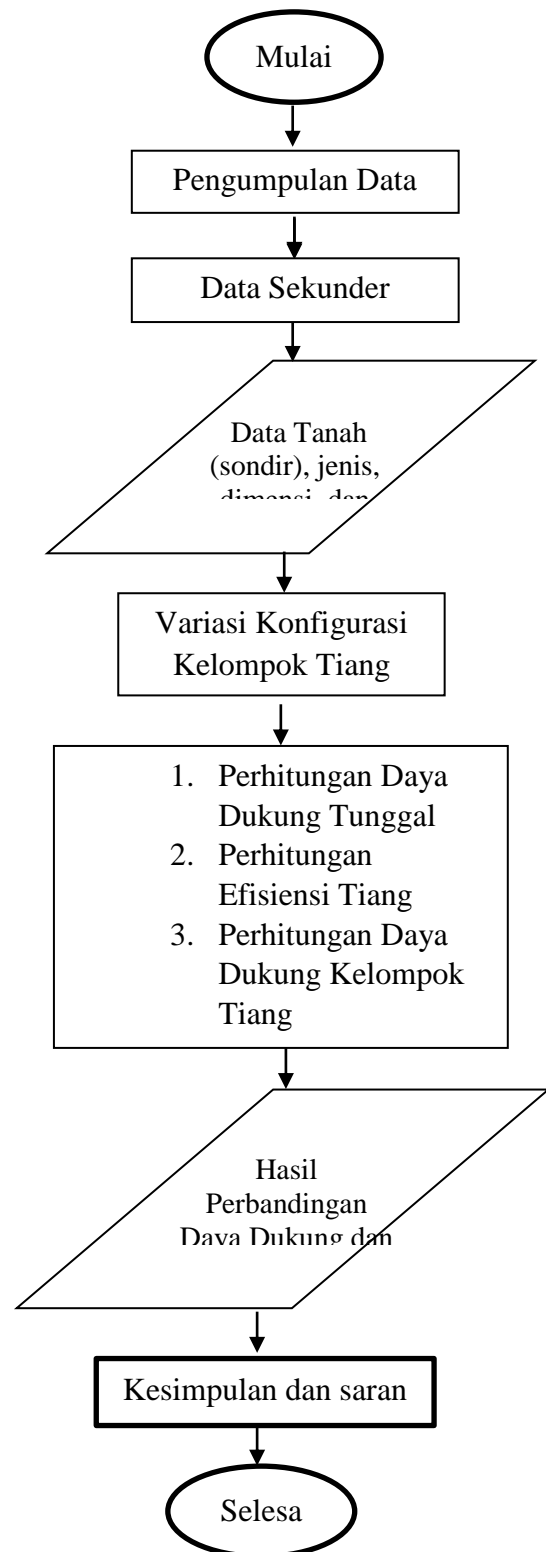
Pada bagian hasil perbandingan variasi tiang pancang terhadap daya dukung tiang adalah untuk mencari hasil konfigurasi tiang yang lebih baik daya dukungnya. Konfigurasi yang baik adalah daya dukung yang terbesar. Dalam bagian ini, penulis dapat menyimpulkan perbandingan variasi konfigurasi dengan daya dukung yang

diperoleh dari proses-proses perhitungan dan analisis diatas sehingga didapatkan konfigurasi tiang dengan nilai daya dukung yang terbesar.

F. Hasil Perbandingan Variasi Tiang Pancang terhadap Penurunan Tiang

Pada bagian ini hasil perbandingan variasi tiang pancang terhadap penurunan tiang adalah untuk mencari hasil konfigurasi tiang dengan penurunan terkecil. Pada bagian ini, penulis dapat menyimpulkan perbandingan variasi konfigurasi dengan penurunan yan diperoleh dari proses-proses perhitungan dan analisis diatas sehingga didapatkan konfigurasi tiang dengan penurunan terkecil.

Tahap – tahap pada Tugas Akhir ini, digambarkan pada diagram alir penelitian di bawah ini.



Sumber : Data diolah, 2017

Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Tanah

Penyelidikan tanah meliputi 3 titik sondir di lokasi gedung B pada Proyek Pembangunan RSUD Depati Hamzah Kota Pangkalpinang. Letak titik penyelidikan di tempatkan di daerah yang diperkirakan dapat mewakili kondisi tanah setempat. Titik sondir dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Sumber: PT. Nindya Karya (Persero)
Gambar 4.1 Lokasi 3 Titik Uji Sondir

Setelah melihat lokasi 3 titik uji sondir diatas maka dapat ditentukan titik-titik mana yang akan digunakan untuk menganalisis variasi-variasi konfigurasi tiang. Maka, pembagian titik-titik uji sondir yang akan digunakan untuk tiap konfigurasi dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pembagian Titik-Titik Uji Sondir

Konfigurasi	Titik Uji Sondir
3 Tiang	Titik 1
4 Tiang	Titik 1
5 Tiang	Titik 1
6 Tiang	Titik 1
7 Tiang	Titik 1
8 Tiang	Titik 1
10 Tiang	Titik 2

Sumber : PT. Nindya Karya (Persero)

Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal pada penelitian ini menggunakan metode langsung atau *direct one*. Dimana pada penelitian ini menggunakan tiang pancang yang sama berbentuk segiempat dengan ukuran 25 x 25.

1. Titik uji sondir 1

$$Q_u = q_c \cdot A_p + JHL \cdot k$$

Dimana,

$$q_c = 180 \text{ kg/cm}^2 = 1800 \text{ ton/m}^2$$

$$A_p = s \times s = 0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$$

$$JHL = 1987,66 \text{ kg/cm} = 198,766 \text{ ton/m}$$

$$K = 4 \times s = 4 \times 0,25 = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= q_c \cdot A_p + JHL \cdot k \\ &= 1800 \cdot 0,0625 + 198,766 \cdot 1 \\ &= 311,266 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dengan daya dukung ijin tiang pada tiang tunggal menggunakan faktor koreksi 3.

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{Q_u}{F} \\ &= \frac{311,266}{3} \\ &= 103,755 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Titik uji sondir 2

$$Q_u = q_c \cdot A_p + JHL \cdot k$$

Dimana,

$$q_c = 180 \text{ kg/cm}^2 = 1800 \text{ ton/m}^2$$

$$A_p = s \times s = 0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$$

$$JHL = 2894,78 \text{ kg/cm} = 289,478 \text{ ton/m}$$

$$K = 4 \times s = 4 \times 0,25 = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= q_c \cdot A_p + JHL \cdot k \\ &= 1800 \cdot 0,0625 + 289,478 \cdot 1 \\ &= 401,978 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dengan daya dukung ijin tiang pada tiang tunggal menggunakan faktor koreksi 3.

$$Q_a = \frac{Q_u}{F}$$

$$= \frac{401,978}{3}$$

$$= 133,993 \text{ ton}$$

Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal

Perhitungan penurunan tiang tunggal pada penelitian ini menggunakan persamaan Vesic (1970).

1. Titik uji sondir 1

$$S = \frac{D}{100} + Q \cdot \frac{L}{A_p \cdot E_p}$$

Dimana,

$$D = 0,25 \text{ m}$$

$$Q = 311,266 \text{ ton}$$

$$L = 5,4 \text{ m}$$

$$A_p = 0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$$

$$E_p = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{43,229} = 3 \times 10^4 \text{ Mpa} = 3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$$

(SNI 2847-2002 pasal 10.5 dengan mutu beton K-500 = $f_c' = 43,229 \text{ MPa}$)

$$S = \frac{D}{100} + Q \cdot \frac{L}{A_p \cdot E_p}$$

$$= \frac{0,25}{100} + 311,266 \cdot \frac{5,4}{0,0625 \cdot 3 \times 10^6}$$

$$= 0,011 \text{ m}$$

2. Titik uji sondir 2

$$S = \frac{D}{100} + Q \cdot \frac{L}{A_p \cdot E_p}$$

Dimana,

$$D = 0,25 \text{ m}$$

$$Q = 401,978 \text{ ton}$$

$$L = 5,4 \text{ m}$$

$$A_p = 0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$$

$$E_p = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{43,229} = 3 \times 10^4 \text{ Mpa} = 3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$$

(SNI 2847-2002 pasal 10.5 dengan mutu beton K-500 = $f_c' = 43,229 \text{ MPa}$)

$$S = \frac{D}{100} + Q \cdot \frac{L}{A_p \cdot E_p}$$

$$= \frac{0,25}{100} + 401,978 \cdot \frac{5,4}{0,0625 \cdot 3 \times 10^6}$$

$$= 0,014 \text{ m}$$

Perhitungan Jarak Antar Tiang

Dalam menentukan sebuah variasi susunan konfigurasi yang direncanakan, peneliti menggunakan jarak antar tiang minimum. Untuk menentukan susunan konfigurasi tersebut Fellenius (2006) menyarankan jarak minimum tiang sebagai berikut :

$$s = 2,5 \cdot d + 0,02 \cdot L$$

Dimana,

$$d = 0,25 \text{ m}$$

$$L = 5,4 \text{ m}$$

$$s = 2,5 \cdot d + 0,02 \cdot L$$

$$= 2,5 \cdot 0,25 + 0,02 \cdot 5,4$$

$$= 0,733 \text{ m}$$

Konfigurasi 3 Tiang

Konfigurasi	Effisiensi Tiang (Eg)	Daya Dukung Kelompok (Qg) (ton)	Daya Dukung Ijin Kelompok (Qga) (ton)	Penurunan Kelompok (Sg) (m)
V3	0,821	767,094	255,698	0,023
V3-1	0,861	803,537	267,846	0,011
V3-2	0,861	803,537	267,846	0,030

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari tabel 4.2 diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi mempengaruhi efisiensi tiang maka dengan demikian daya dukung

kelompok dan penurunan kelompok pun ikut berpengaruh. Selisih tertinggi hasil perhitungan untuk variasi konfigurasi 3 tiang pada daya dukung ijin kelompok adalah 12,148 ton dan penurunan tiang kelompok adalah 0,012 m. Namun jika dibandingkan konfigurasi proyek dengan model variasi konfigurasi yang direncanakan selisih terbesar untuk daya dukung ijin adalah 12,148 ton dan untuk penurunan tiang kelompok adalah 0,012 m. Dari hasil perhitungan didapat nilai daya dukung ijin terbesar pada variasi V3-1 dan V3-2 senilai $Q_{ga} = 267,846$ ton. Namun, pada penurunan tiang kelompok terkecil didapat dari variasi V3-1 senilai $S_g = 0,011$. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pada konfigurasi 3 tiang variasi konfigurasi V3-1 adalah variasi terbaik karena memiliki daya dukung ijin tiang kelompok terbesar $Q_{ga} = 267,846$ ton dan memiliki penurunan kelompok terkecil $S_g = 0,011$ m. Dan variasi konfigurasi V3-1 lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi yang didapat dari proyek pembangunan RSUD Kota Pangkalpinang atau V3.

Konfigurasi 4 Tiang

Konfigurasi	Effisiensi Tiang (Eg)	Daya Dukung Kelompok (Qg) (ton)	Daya Dukung Ijin Kelompok (Q_{ga}) (ton)	Penurunan Kelompok (S_g) (m)
4 Tiang				
V4	0,823	1024,480	341,493	0,024
V4-1	0,843	1049,672	349,891	0,011
V4-2	0,843	1049,672	349,891	0,036
V4-3	0,756	941,121	313,707	0,029

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari tabel 4.3 diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi mempengaruhi efisiensi

tiang maka dengan demikian daya dukung kelompok dan penurunan kelompok pun ikut berpengaruh. Selisih tertinggi hasil perhitungan untuk variasi konfigurasi 4 tiang pada daya dukung ijin kelompok adalah 36,184 ton dan penurunan tiang kelompok adalah 0,025 m. Namun jika dibandingkan konfigurasi proyek dengan model variasi konfigurasi yang direncanakan selisih terbesar untuk daya dukung ijin adalah 27,786 ton dan untuk penurunan tiang kelompok adalah 0,013 m. Dari hasil perhitungan didapat nilai daya dukung ijin terbesar pada variasi V4-1 dan V4-2 senilai $Q_{ga} = 349,891$ ton. Namun, pada penurunan tiang kelompok terkecil didapat dari variasi V4-1 senilai $S_g = 0,011$ m. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pada konfigurasi 4 tiang variasi konfigurasi V4-1 adalah variasi terbaik karena memiliki daya dukung ijin tiang kelompok terbesar $Q_{ga} = 349,891$ ton dan memiliki penurunan kelompok terkecil $S_g = 0,011$ m. Dan variasi konfigurasi V4-1 lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi yang didapat dari proyek pembangunan RSUD Kota Pangkalpinang atau V4.

Konfigurasi 5 Tiang

Konfigurasi	Effisiensi Tiang (Eg)	Daya Dukung Kelompok (Qg) (ton)	Daya Dukung Ijin Kelompok (Q_{ga}) (ton)	Penurunan Kelompok (S_g) (m)
5 Tiang				
V5	0,793	1234,302	411,434	0,029
V5-1	0,833	1295,807	431,936	0,011
V5-2	0,833	1295,807	431,936	0,041
V5-3	0,756	1176,401	392,134	0,022
V5-4	0,756	1176,401	392,134	0,028

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari tabel 4.4 diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi mempengaruhi efisiensi tiang maka dengan demikian daya dukung kelompok dan penurunan kelompok pun ikut berpengaruh. Selisih tertinggi hasil perhitungan untuk variasi konfigurasi 5 tiang pada daya dukung ijin kelompok adalah 39,802 ton dan penurunan tiang kelompok adalah 0,030 m. Kemudian, jika dibandingkan konfigurasi proyek dengan model variasi konfigurasi yang direncanakan selisih terbesar untuk daya dukung ijin adalah 20,502 ton dan untuk penurunan tiang kelompok adalah 0,018 m. Dari hasil perhitungan didapat nilai kapasitas dukung ijin terbesar pada variasi V5-1 dan V5-2 senilai $Q_{ga} = 431,936$ ton. Namun, pada penurunan tiang kelompok terkecil didapat dari variasi V5-1 senilai $S_g = 0,011$ m. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pada konfigurasi 5 tiang variasi konfigurasi V5-1 adalah variasi terbaik karena memiliki kapasitas dukung ijin tiang kelompok terbesar $Q_{ga} = 431,936$ ton dan memiliki penurunan kelompok terkecil $S_g = 0,011$ m. Dan variasi konfigurasi V5-1 lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi yang didapat dari proyek pembangunan RSUD Kota Pangkalpinang atau V5.

Konfigurasi 6 Tiang

Konfigurasi	Effisiensi Tiang (Eg)	Daya Dukung Kelompok (Q_g) (ton)	Daya Dukung Ijin Kelompok (Q_{ga}) (ton)	Penurunan Kelompok (S_g) (m)
6 Tiang				
V6	0,793	1450,837	483,612	0,031
V6-1	0,833	1541,943	513,981	0,011
V6-2	0,833	1541,943	513,981	0,045

V6-3	0,756	1411,681	470,560	0,023
V6-4	0,756	1411,681	470,560	0,030
V6-5	0,756	1411,681	470,560	0,028

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari tabel 4.5 diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi mempengaruhi efisiensi tiang maka dengan demikian daya dukung kelompok dan penurunan kelompok pun ikut berpengaruh. Selisih tertinggi hasil perhitungan untuk variasi konfigurasi 6 tiang pada daya dukung ijin kelompok adalah 43,421 ton dan penurunan tiang kelompok adalah 0,034 m. Kemudian, jika dibandingkan konfigurasi proyek dengan model variasi konfigurasi yang direncanakan selisih terbesar untuk daya dukung ijin adalah 30,369 ton dan untuk penurunan tiang kelompok adalah 0,020 m. Dari hasil perhitungan didapat nilai daya dukung ijin terbesar pada variasi V6-1 dan V6-2 senilai $Q_{ga} = 513,981$ ton. Namun, pada penurunan tiang kelompok terkecil didapat dari variasi V6-1 senilai $S_g = 0,011$ m. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pada konfigurasi 6 tiang variasi konfigurasi V6-1 adalah variasi terbaik karena memiliki daya dukung ijin tiang kelompok terbesar $Q_{ga} = 513,981$ ton dan memiliki penurunan kelompok terkecil $S_g = 0,011$ m. Dan variasi konfigurasi V6-1 lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi yang didapat dari proyek pembangunan RSUD Kota Pangkalpinang atau V6.

Konfigurasi 7 Tiang

Konfigurasi 7 Tiang	Effisiensi Tiang (Eg)	Daya Dukung Kelompok (Qg) (ton)	Daya Dukung Ijin Kelompok (Qga) (ton)	Penurunan Kelompok (Sg) (m)
V7	0,762	1660,228	553,409	0,030
V7-1	0,821	1788,078	596,026	0,011
V7-2	0,821	1788,078	596,026	0,049
V7-3	0,704	1532,983	510,994	0,025
V7-4	0,738	1608,969	536,323	0,022
V7-5	0,721	1570,976	523,659	0,030

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari tabel 4.6 diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi mempengaruhi efisiensi tiang maka dengan demikian daya dukung kelompok dan penurunan kelompok pun ikut berpengaruh. Selisih tertinggi hasil perhitungan untuk variasi konfigurasi 7 tiang pada kapasitas dukung ijin kelompok adalah 85,032 ton dan penurunan tiang kelompok adalah 0,038 m. Kemudian, jika dibandingkan konfigurasi proyek dengan model variasi konfigurasi yang direncanakan selisih terbesar untuk daya dukung ijin adalah 42,617 ton dan untuk penurunan tiang kelompok adalah 0,019 m. Dari hasil perhitungan didapat nilai daya dukung ijin terbesar pada variasi V7-1 dan V7-2 senilai $Q_g = 596,026$ ton. Namun, pada penurunan tiang kelompok terkecil didapat dari variasi V7-1 senilai $S_g = 0,011$ m. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pada konfigurasi 7 tiang variasi konfigurasi V7-1 adalah variasi terbaik karena memiliki daya dukung ijin tiang kelompok terbesar $Q_g = 596,026$ ton dan memiliki penurunan kelompok terkecil $S_g = 0,011$ m. Dan variasi konfigurasi V7-1 lebih baik

dibandingkan dengan konfigurasi yang didapat dari proyek pembangunan RSUD Kota Pangkalpinang atau V7.

Konfigurasi 8 Tiang

Konfigurasi 8 Tiang	Effisiensi Tiang (Eg)	Daya Dukung Kelompok (Qg) (ton)	Daya Dukung Ijin Kelompok (Qga) (ton)	Penurunan Kelompok (Sg) (m)
V8	0,764	1901,904	633,968	0,032
V8-1	0,817	2034,213	678,071	0,011
V8-2	0,817	2034,213	678,071	0,053
V8-3	0,738	1838,821	612,940	0,023
V8-4	0,738	1838,821	612,940	0,036
V8-5	0,738	1838,821	612,940	0,034

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari tabel 4.7 diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi mempengaruhi efisiensi tiang maka dengan demikian daya dukung kelompok dan penurunan kelompok pun ikut berpengaruh. Selisih tertinggi hasil perhitungan untuk variasi konfigurasi 8 tiang pada daya dukung ijin kelompok adalah 65,131 ton dan penurunan tiang kelompok adalah 0,042 m. Kemudian, jika dibandingkan konfigurasi proyek dengan model variasi konfigurasi yang direncanakan selisih terbesar untuk daya dukung ijin adalah 44,103 ton dan untuk penurunan tiang kelompok adalah 0,021 m. Dari hasil perhitungan didapat nilai daya dukung ijin terbesar pada variasi V8-1 dan V8-2 senilai $Q_g = 678,071$ ton. Namun, pada penurunan tiang kelompok terkecil didapat dari variasi V7-1 senilai $S_g = 0,011$ m. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pada konfigurasi 8 tiang variasi konfigurasi V8-1 adalah variasi terbaik karena memiliki daya dukung ijin tiang kelompok terbesar $Q_g =$

678,071 ton dan memiliki penurunan kelompok terkecil $S_g = 0,011$ m. Dan variasi konfigurasi V8-1 lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi yang didapat dari proyek pembangunan RSUD Kota Pangkalpinang atau V8.

Konfigurasi 10 Tiang

Konfigurasi 10 Tiang	Effisiensi Tiang (Eg)	Daya Dukung Kelompok (Qg) (ton)	Daya Dukung Ijin Kelompok (Qga) (ton)	Penurunan Kelompok (Sg) (m)
V10	0,749	3010,871	1003,624	0,040
V10-1	0,728	2926,328	975,443	0,028
V10-2	0,728	2926,328	975,443	0,050
V10-3	0,704	2828,198	942,733	0,042
V10-4	0,704	2828,198	942,733	0,044
V10-5	0,728	2926,328	975,443	0,047
V10-6	0,704	2828,198	942,733	0,037

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari tabel 4.8 diatas dapat dilihat bahwa konfigurasi mempengaruhi efisiensi tiang maka dengan demikian daya dukung kelompok dan penurunan kelompok pun ikut berpengaruh. Selisih tertinggi hasil perhitungan untuk variasi konfigurasi 10 tiang pada daya dukung ijin kelompok adalah 60,891 ton dan penurunan tiang kelompok adalah 0,022 m. Kemudian, jika dibandingkan konfigurasi proyek dengan model variasi konfigurasi yang direncanakan selisih terbesar untuk daya dukung adalah 60,891 ton dan untuk penurunan tiang kelompok adalah 0,012 m, Dari hasil perhitungan didapat nilai daya dukung ijin terbesar tetap pada konfigurasi V10 senilai $Q_{ga} = 1003,624$ ton yang didapat dari proyek pembangunan RSUD

Kota Pangkalpinang. Sedangkan penurunan tiang kelompok terkecil didapat dari konfigurasi V10-1 senilai $S_g = 0,028$ m. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pada konfigurasi 10 tiang variasi yang memiliki daya dukung ijin terbesar yang diambil menjadi konfigurasi terbaik yaitu konfigurasi V10 karena dilihat pada nilai penurunannya dibandingkan dengan konfigurasi V10-1 tidak terlalu jauh. Maka, pada konfigurasi 10 tiang diambil konfigurasi V10 menjadi konfigurasi terbaik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan variasi konfigurasi tiang kelompok dapat disimpulkan bahwa pengaruh konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap daya dukung tiang dipengaruhi oleh besarnya efisiensi tiang (Eg). Besarnya nilai efisiensi tiang (Eg) dalam suatu kelompok tiang tersebut dipengaruhi oleh susunan tiang, jumlah baris, jumlah tiang dalam satu baris, dan jarak tiang. Jadi, semakin besar nilai efisiensi kelompok tiang artinya semakin baik karena semakin besar pula nilai daya dukung kelompok yang dihasilkan pada suatu konfigurasi kelompok tiang. Hasil perhitungan menunjukkan kisaran selisih tertinggi dari konfigurasi 3 tiang – konfigurasi 10 tiang untuk daya dukung ijin sebesar 12,148 ton – 85,032 ton.
2. Dari hasil perhitungan variasi konfigurasi tiang kelompok dapat disimpulkan bahwa pengaruh konfigurasi tiang pancang kelompok

terhadap penurunan tiang dipengaruhi oleh besarnya lebar tiang kelompok (Bg). Besarnya lebar tiang kelompok (Bg) dalam suatu konfigurasi tiang sangat mempengaruhi nilai penurunan tiang kelompok karena semakin besar lebar tiang kelompok semakin besar pula penurunan tiang kelompoknya. Hasil perhitungan menunjukkan kisaran selisih tertinggi dari konfigurasi 3 tiang – konfigurasi 10 tiang untuk penurunan tiang kelompok sebesar 0,012 m - 0,040 m.

Saran

1. Dalam menentukan konfigurasi tiang kelompok sebaiknya diperhatikan susunan tiang, jarak, lebar tiang kelompok, posisi lahan yang tersedia agar mendapatkan konfigurasi yang memiliki daya dukung tinggi dan penurunan yang rendah.
2. Konfigurasi tiang kelompok sangat berpengaruh terhadap daya dukung dan penurunan tiang kelompok. Jadi, apabila pembaca ingin menindaklanjuti tentang konfigurasi tiang kelompok pembaca dapat mencobanya dengan metode – metode lain sesuai dengan data yang tersedia, sehingga banyak perbandingan yang akan diperoleh demi melengkapi tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, Moinuddin. 2009. *Analisis Pengaruh Konfigurasi Tumpukan terhadap Beban Lateral Kelompok Tiang di Pasir*. Osmania University.

Bowles. J. E. 1977. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid I*. Erlangga: Jakarta.

Budi, Gogot Setyo. 2011. *Pondasi Dangkal*. Andi: Yogyakarta.

Firdaus, Wildan. 2011. *Studi Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan Plaxis 2D pada Tanah Lunak*. Jurnal Teknik Sipil FTSP-ITS. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Hardiyatmo, Hary Christady. 2014. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.

Hardiyatmo, Hary Christady. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.

Ismeddiyanto dan Sutikno. 2012. *Analisis Struktur Konfigurasi Tiang Dermaga terhadap Gaya Lateral*. Jurnal Staff Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, November 2012. Universitas Riau.

Rizolla, Ingga Aranka. 2015. *Analisis Perbandingan Daya Dukung Fondasi Tapak Menggunakan Perkuatan Cerucuk Dibandingkan dengan Fondasi Sumuran*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Bangka Belitung. Bangka Belitung.

Sardjono. 1988. *Pondasi Tiang Pancang Jilid II*. Sinar Wijaya: Surabaya.

Setepu, T.A. 2014. *Analisis Konfigurasi Pondasi Tiang Pancang Kernel Jetty terhadap Gaya Lateral pada Pembangunan Jetty Pulau Laut*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol. 02 No. 02, Juni 2014. Universitas Sriwijaya.

- Wesley. L. D. 2010. Mekanika Tanah. Andi: Yogyakarta.
- Yusuf, M dan Aryanto. 2011. *Kajian Pengaruh Konfigurasi Kelompok Tiang terhadap Daya Dukung Tanah untuk Perkuatan Fondasi Jalan Tanah Gambut*. Jurnal Teknik Sipil UNTAN Vol. 11 No. 1, Juni 2011. Universitas Tanjungpura.

